

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО – МЕТОДИЧНА

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра «Технології і обладнання зварювального
виробництва»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичного заняття №1
з дисципліни «Матеріали для зварювання
плавленням, наплавлення і напилення»

на тему:
«Розрахунок і вибір параметрів режиму ручного
дугового зварювання покритим електродом»

Тернопіль,
2016

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра «Технології і обладнання зварювального виробництва»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичного заняття №1
з дисципліни «Матеріали для зварювання плавленням,
наплавлення і напилення»

на тему:
«Розрахунок і вибір параметрів режиму ручного дугового
зварювання покритим електродом»

Для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»,
спеціальності 6.050504 «Зварювання»

Тернопіль,
2016

Методичні вказівки розроблено відповідно з навчального плану підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня " бакалавр", спеціальності 6.050504 "Зварювання", а також робочої програми з дисципліни "Матеріали для зварювання плавленням, наплавлення і напилення"

Укладачі: к.т.н., доц. Татарин Б.П.
ст. викладач Береженко Б.М.
асистент Сенчишин В.С.
Рецензент: к.т.н., доц. Сташків М.Я.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри «Технології і обладнання зварювального виробництва»
Протокол № _____ від "___" _____ 20__ р.

Затвердила та рекомендувала до друку методична комісія
ФМТ ТНТУ імені Івана Пулюя, протокол № ____ від _____ 20__ р.

1. Розрахунок параметрів режиму ручного дугового зварювання

Режимом зварювання називається сукупність характеристик зварювального процесу, які забезпечують одержання зварних швів потрібних розмірів, форми і якості. Параметрами режиму при ручному дуговому зварюванні є: діаметр електрода d_e , вид, полярність і величина зварювального струму $I_{зв}$, напруга дуги U_d . Крім вказаних параметрів часто буває необхідно знати число проходів n при багатопрохідному зварюванні, площу поперечного перерізу шва, виконаного за один прохід F_n та інші.

1.1. а) вихідною величиною для розрахунку і вибору режиму зварювання є товщина зварюваних елементів S при зварюванні встик, або катет шва K при зварюванні кутових і таврових з'єднань.

Визначення режиму зварювання починають з вибору діаметра електроду.

Практичні рекомендації для вибору діаметра електроду в залежності від товщини катета наведені в таблиці 1 [1].

б) Згідно ГОСТ 5264–80 стикові з'єднання з товщиною стикових елементів від 1 до 6 мм рекомендується зварювати без розроблення кромek, в декілька шарів (проходів). При зварюванні багатопрохідних швів стикових з'єднань перший прохід повинен виконуватися електродом з діаметром не більше 5 мм (частіше 4 мм). Це пов'язано з тим, що призначення електродів великого діаметру не дозволить в необхідній мірі проникнути в глибину для проварювання кореня шва. Крім цього, бажано щоби перший наплавлений валик був, як можна меншої площі поперечного перерізу.

При зварюванні кутових і таврових з'єднань, як правило, за один прохід виконують шви катетом до 8 мм.

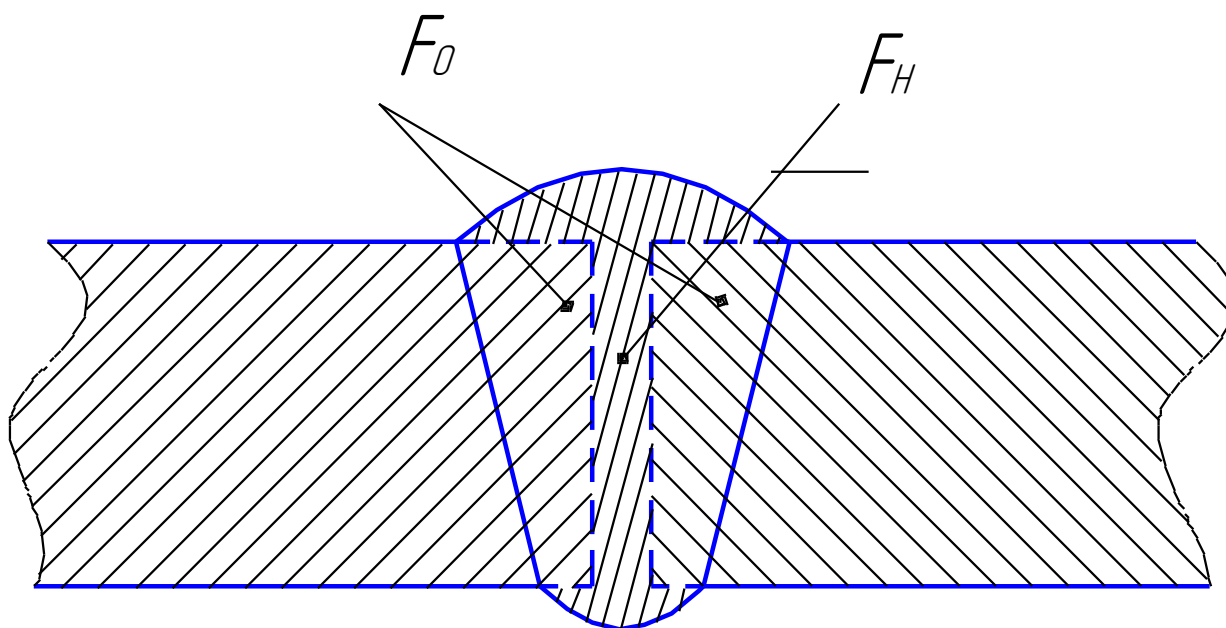


Рис.1 – Схема поперечного перерізу стикового шва без розробки кромки

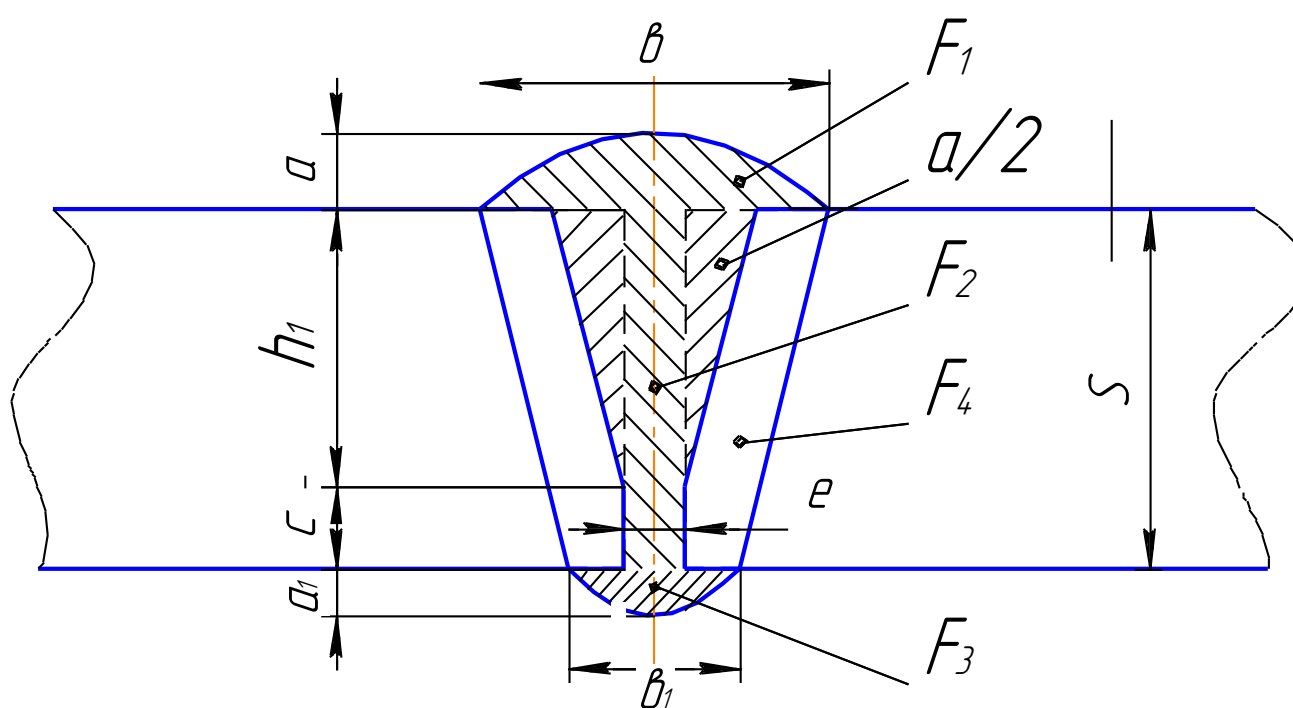


Рис.2 – Схема поперечного перерізу балки стикового шва з розробкою кромки

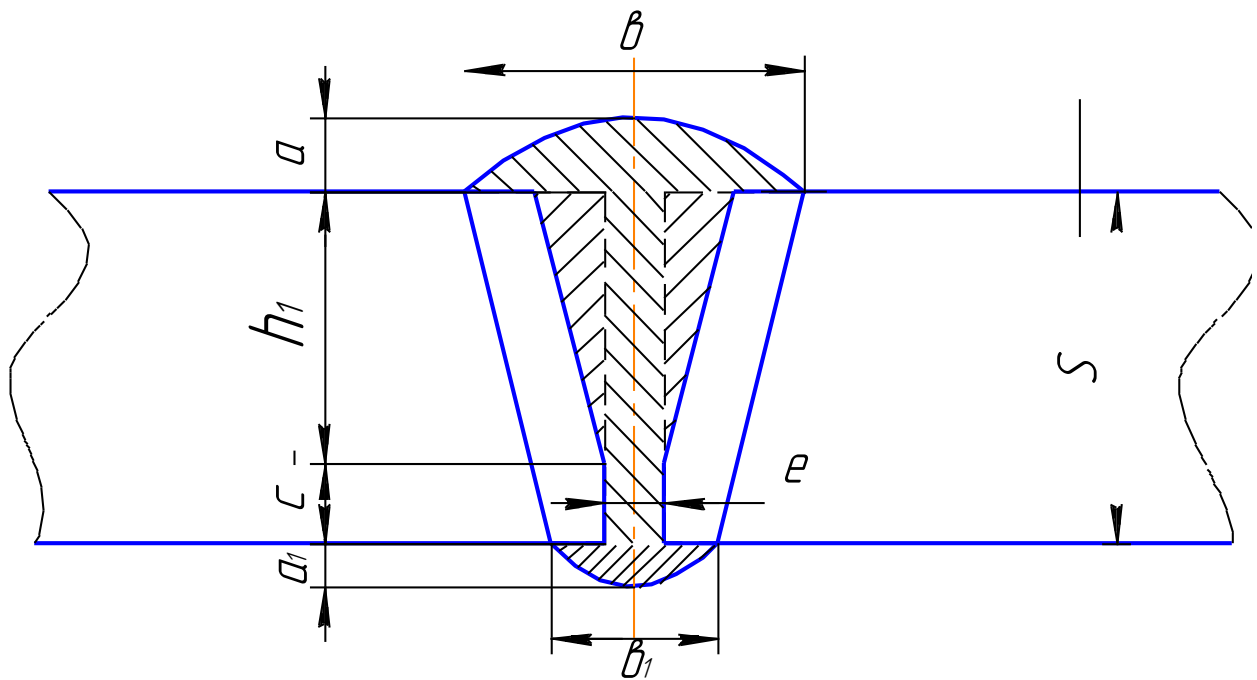


Рис.3 – Конструктивні елементи підготовки кромки і зварного шва:

$$\begin{aligned}
 S &= 20 \text{ мм}; \\
 e &= c = 2 \text{ мм}; \\
 b_1 &= 10 \text{ мм}; \\
 a / 2 &= 30^\circ \\
 b &= 30 \text{ мм}; \\
 a &= 2,5 \text{ мм}; \\
 a_1 &= 0,5 \text{ мм};
 \end{aligned}$$

де: h_1 - висота розробки кромки;

e – зазор;

c – притуплення;

a – посилення.

в) максимальна площа поперечного перерізу стикового шва, наплавленого за один прохід при багатопрохідному зварюванні, не повинен перевищувати $F_n = 30\text{--}40 \text{ мм}^2$ (рис.1). Максимальна загальна площа наплавленого металу при зварюванні кутових та таврових з'єднань може бути визначена за формулою (1):

$$F = \frac{K_y \cdot K^2}{2}, \quad (1)$$

де K – катет шва, мм;

K_y – коефіцієнт підсилення шва, який враховує наявність зазорів і випуклості. Значення цього коефіцієнта вибирають в залежності від величин катета шва (див. табл.2) [1]. Для точного визначення числа проходів треба враховувати, що при зварюванні швів стикових з'єднань площа металу, наплавленого за перший прохід, визначається за формулою:

$$F_{н1} = (6...8) \cdot d_e,$$

а площа металу, наплавленого за кожен наступний прохід за формулою:

$$F_{н.н.} = (8...12) \cdot d_e.$$

Таким чином загальне число проходів може бути вираховано за формулою:

$$n = \frac{F_n - F_{н1}}{F_{н.н.}} + 1 \quad (2)$$

Таблиця 1 – Залежність діаметра електроду і катета шва від товщини зварюваного металу

Товщина деталі при зварюванні встик, мм	1,5–2	3	4–8	9–12	13–15	16–20	20
Діаметр електроду в мм	1,6–2	3	4	4–5	5	5–6	6–10
Катет шва при зварюванні кутових і таврових з'єднань в мм	3		4–5		6–9		
Діаметр електроду в мм	3		4		5		

Таблиця 2 – Залежність коефіцієнта підсилення (K_y) від катета шва (K)

Катет шва, K , мм	3–4	5–6	7–10	12–20	20–30	30
Коефіцієнт підсилення K_y	1,5	1,35	1,25	1,15	1,10	1,05

Таблиця 3 – Допустима густина величини струму в залежності від виду електродного покриття

Вид покриття	Допустима густина струму в A/mm^2 при $d_{ел}$, мм			
	3	4	5	6
Основне (фтористо кальцієве)	13–18,5	10–14,5	9–12,5	8,5–12
Рутилове (кисле)	14–20	11,5–16	10–13,5	9,5–12,5

1.2. Для визначення числа проходів і маси наплавленого металу при зварюванні з розробленням кромки потрібно знати загальну площу перерізу шва. При багатопрохідному зварюванні вона знаходиться як сума площ елементарних геометричних фігур:

$$F_H = F_1 + F_2 + F_3 + 2F_4 \text{ (див.рис.2).}$$

$$\text{де } x = h_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad F_1 = 0,75 \cdot b \cdot a;$$

$$F_u = \frac{h_1^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2}; \quad F_2 = e \cdot S; \quad F_3 = 0,75 \cdot b_1 \cdot a_1;$$

$$F_H = 0,75 \cdot b \cdot a + e \cdot S + 0,75 \cdot b_1 \cdot a_1 + h_1^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2};$$

де b – ширина наплавленого металу, мм;

a – висота посилення шва, мм;

b_1 – ширина проплавленого кореня шва, мм;

a_1 – висота посилення кореня шва, мм;

S – товщина зварюваного металу, мм;

h_1 – висота розроблення кромки, мм;

e – висота притуплення, мм.

Знаючи загальну площу поперечного перерізу наплавленого металу і площу поперечного перерізу металу, наплавленого при першому і кожному наступному проходах за формулою (2), вираховуємо число проходів.

1.2. а) після вибору діаметра електроду вибирають його тип і марку. Переважно для зварювання конструкцій з маловуглецевих сталей користуються електродами типу Е-42, Е-46, Е-50. Для зварювання конструкцій з низьколегованих сталей – Е-42А, Е-50А, низьколегованих сталей підвищеної надійності – від Е-50А до Е-85А, низьколегованих теплостійких сталей від Е-М до Е-Х5МФ, середньо легованих високонадійних сталей ЕА-1Г6, ЕА-2Г6, ЕА-3М6, високолегованих сталей Е-04Х20Н9, ЕА-1М2 та інші.

Відповідно вказаним та іншим типам – марки електродів необхідно вибирати по каталогу [2].

1.2. б) рекомендовані для даної марки електрода значення зварювального струму, його вид і полярність вибирають відповідно паспорта електроду. Для маловуглецевих сталей, в більшості випадків, необхідно використовувати постійний струм зворотньої полярності або змінний струм.

Сила зварювального струму при ручному дуговому зварюванні може бути розрахована в відношенні до діаметра електрода і допустимої густини струму j :

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_{\text{е}}^2}{4} \cdot j, \text{ А} \quad (3)$$

При правильному виборі допустимої густини струму виключається надмірне нагрівання електрода.

Рекомендації по вибору густини струму наведені в таблиці 3. Як видно з вказаного розрахунку при наближених розрахунках величини зварювального струму можна визначити за формулою 4 або 4а:

$$I_{зв} = K \cdot d_{\text{е}}, \quad (4)$$

$$I_{зв} = d_e \cdot (R + \alpha \cdot d_e), \quad (4a)$$

Значення коефіцієнта K вибираються в залежності від діаметра електроду. Ця залежність наведена в таблиці 4, а більш точні результати дає розрахунок за формулою 4а.

При цьому: $K = 20$, $\alpha = 6$.

1.3. Напруга дуги при ручному дуговому зварюванні U_d змінюється в порівняно вузьких межах і при проектуванні технологічних процесів зварювання вибираються на основі рекомендації паспорта на дану марку електроду.

Орієнтовно значення напруги для ручного дугового зварювання можна вибирати в межах 20...36 В.

1.4. Для розрахунку температурних полів, швидкості зварювання, впливу зварювальних деформацій і деяких інших величин буває необхідно враховувати теплову дію на зварюваний метал, яка визначається погонною енергією q_n [1]

$$q_n = \frac{q_u}{V_{зв}} = \frac{0,24 \cdot I_{зв} \cdot U_d \cdot \eta_u}{V_{зв}}, \quad (5)$$

де: η_u – ефективний к.к.д. дуги. Для ручного дугового зварювання $\eta_u = 0,4...0,6$

$V_{зв}$ – швидкість зварювання, яка може бути визначена за формулою:

$$V_{зв.} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n}, \quad (6)$$

де α_n – коефіцієнт наплавлення, $b = \frac{e}{A \cdot 200}$. Величина визначається

з паспортних даних на марку електроду [2] (див.табл.5);

γ – густина наплавленого металу, $\frac{e}{cm^3}$. Для більшості сталей використовують $\gamma = 7,8 \text{ Г/см}^3$.

Таким чином:

$$q_{\text{п}} = \frac{0,24 \cdot U_{\text{л}} \cdot \eta_u \cdot 3600 \cdot \gamma \cdot F}{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{зб}}} = 864 \frac{U_{\text{д}}}{\alpha_{\text{н}}} \cdot \gamma \cdot \eta_u \cdot F, \quad (7)$$

Величина $\frac{U_{\text{д}}}{\alpha_{\text{н}}}$ для електродів різних марок змінюється в вузьких межах. Тому можна всі постійні величини позначити через А. Тоді отримаємо $q_{\text{п}} = A \cdot F_{\text{н}}$ де $F_{\text{н}}$ – площа поперечного перерізу металу в см^2 , наплавленого за один прохід, яка визначається за формулою 1 (с. 3).

1.5 Глибину провару (h) з достатньою мірою точності можна визначити з виразу:

$$h = (0,5 \dots 0,7) \cdot r, \quad (8)$$

де r – відстань від ізотерми плавлення

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot q_{\text{н}}}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma \cdot T_{\text{пл}}}}$$

Для більшості сталей умовно приймають $T_{\text{пл}} = 1500^\circ\text{C}$. Підставивши у формулу (8) всі величини, отримаємо:

$$h = (0,5 \dots 0,7) \cdot 0,0112 \cdot \sqrt{q_{\text{н}}} = 0,0067 \cdot \sqrt{q_{\text{н}}}, \quad (9)$$

Таблиця 4 – Залежність коефіцієнта (K) від діаметра електрода ($d_{\text{ел}}$)

Діаметр електрода, мм	2	3	4	5	6
коефіцієнт, K	25–30	30–45	35–50	40–55	45–60

Таблиця 5 – Залежність коефіцієнта наплавлення ($\alpha_{\text{н}}$) від марки електродів

Марка електрода	$\alpha_{\text{н}}$, Г/А · год
УОНИ 13–45 АНО–6	8,5
УОНИ 13155	9
АНО–4	8,3

ОЗС–6	10,5
ЦМ–7	10,6

2. Приклади розрахунку параметрів режиму ручного дугового зварювання

ПРИКЛАД 2.1

Розрахувати параметри режиму при ручному дуговому зварюванні сталі ВСт5сп встик, без розроблення при товщині зварюваного металу $S = 4$ мм.

2.1.1. По таблиці 1 для даної товщини $S = 4$ мм вибираємо діаметр електрода – $d_e = 4$ мм.

2.1.2. Згідно рекомендаціям (див. с. 5, п. 1.2) вибираємо електрод типу Е–42 марки АНО–5 (покриття рутилове).

2.1.3. Згідно ГОСТ 5264–80 стикові з'єднання з товщиною стикуючих елементів від 1 до 6 мм рекомендується зварювати без розроблення кромки за один прохід – $n = 1$.

2.1.4. Величину зварювального струму розраховуємо за формулою (3)

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot j,$$

Густину струму для цього діаметра електрода вибираємо з таблиці 3:

$$j = 16 \text{ А/мм}^2; \quad I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} \cdot 16 = 200 \text{ А}.$$

2.1.5. Напругу дуги вибираємо з паспорта на цю марку електрода [2] $U_o = 32 \text{ В}$

3. Приклади вибору параметрів режиму ручного дугового зварювання

В технічній документації на зварні конструкції вимоги до зварних швів встановлюються на основі загальних стандартів або галузевих нормалей і технічних умов на виготовлення продукції. Аналіз і узагальнення матеріалів ГОСТа на підготовлення кромки під зварювання дозволяє здійснити вибір параметрів режиму ручного дугового зварювання, об'єднуючи в собі, як елементи розрахунку параметрів режиму, так і визначення найбільшої економічності процесу з точки зору мінімальної кількості наплавленого металу.

Нижче приводиться приклад вибору параметрів режиму зварювання.

ПРИКЛАД 3.1.

Вибрати параметри режиму для зварювання встик двох листів з середньо вуглецевої сталі марки Сталь 45 товщиною, $S = 6$ мм.

3.3.1. По таблиці 6, складеної даними з ГОСТ 5264–80, в залежності від товщини зварювального металу вибираємо форму підготовлення кромки і характер виконання шва (наприклад, однобічний, двобічний та інш.). При виборі враховуємо економічність процесу для підготовлення кромки та кількість наплавленого металу.

В завданні необхідно виконати зварювання встик металу товщиною $S = 6$ мм. Виходячи з таблиці 6, зварювання можна провести:

- а) без розробки кромки однобічним швом (площа наплавленого металу $F_n = 27,4$ мм, маса наплавленого металу $m_n = 0,214$ кг/м);
- б) без розроблення кромки, двохсторонній швом ($F_n = 41,2$ мм², $m_n = 0,322$ кг/м);

в) з V – подібним розробленням кромки, однобічним швом ($F_H = 34,1 \text{ мм}^2$,

$m_H = 0,265 \text{ кг/м}$);

г) з V – подібним розробленням кромки, двобічним швом ($F_H = 34,8 \text{ мм}^2$,

$m_H = 0,271 \text{ кг/м}$);

На основі аналізу даних, наведених вище, мас і площ наплавленого металу швів при зварюванні, найбільш вигідний однобічний шов, без розроблення кромки, який забезпечує мінімальні F_H і m_H .

Використаємо необхідні для подальшого розрахунку дані однобічного шва по площі і масі наплавленого при зварюванні по F_H і m_H : $F_H = 27,4 \text{ мм}^2$, $m_H = 0,214 \text{ кг/м}$.

3.3.2. З таблиці 1 в залежності від товщини зварюваного металу визначаємо діаметр електрода (d_e). Для товщини зварюваного металу $S = 6 \text{ мм}$, діаметр електрода $d_e = 4 \text{ мм}$.

3.3.3. По графіку, на рис.4. керуючись вибраними F_H і d_e , знаходимо число проходів (n). Для цього: на осі F_H знаходимо величину вибраної площі наплавлення $F_H = 274 \text{ мм}^2$, проводимо перпендикуляр до перетину з лінією визначеного нами діаметра електрода $d_e = 4 \text{ мм}$. З місця перетину проводимо горизонталь до перетину з віссю « n », отримаємо число проходів $n = 1$. Для багатопрохідного зварювання спочатку визначимо площу наплавлення для першого проходу, який як правило, виконується електродом діаметром 2...4 мм. Задавшись значеннями $n = 1$ і $d_e = 2...4 \text{ мм}$, визначимо площу наплавлення першого проходу F_{H1} . Вирахуємо від загальної площі наплавлення F_H визначеної з таблиці 6. Площу наплавленого металу для першого проходу F_{H1} . Знайдене значення $F_{H2} = F_H - F_{H1}$ дозволить по графіку на рис. 5 вирахувати число наступних проходів « n ».

3.3.4. В залежності від марки зварюваного матеріалу вибираємо по каталогу [2] тип і марку електрода. Керуючись видом, маркою

і діаметром електрода вибираємо рід струму, силу струму і напругу дуги по таблиці 7.

Згідно даних каталога [2] для середньо-вуглецевої сталі марки Сталь 45 рекомендуються електроди типу Е-42 марки УОНИ 13/45. Для вибраного типу і марки електрода рекомендується використовувати постійний струм, зворотньої полярності величиною – $I_{зв} = 130\text{--}160\text{ А}$ і напругу $U_d = 20\text{--}36\text{ В}$.

3.3.5. З таблиці 3, в залежності від виду покриття, уточняємо значення вибраного струму.

В марці електроду УОНИ 13/45, покриття основне. Допустима густина струму $j = 12\text{ А/мм}^2$.

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot j = 0,785 \cdot 16 \cdot 12 = 150\text{ А}.$$

При цій густині струму будуть найменші витрати на вигарання і розбризкування.

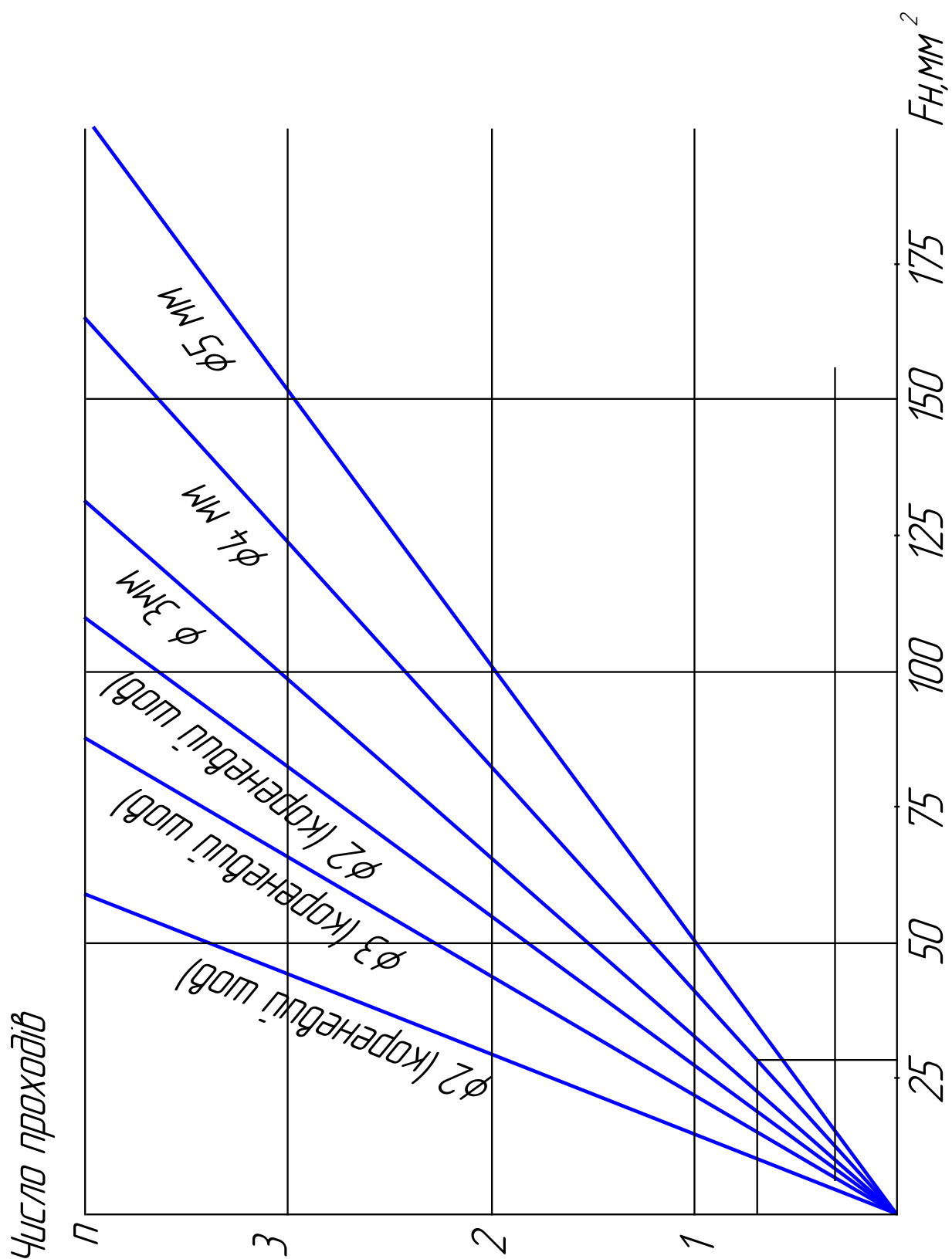


Рис. 4 – Графік для визначення числа проходів (n) при одnobічному ручному дуговому зварюванні стикових з'єднань в залежності від прощі поперечного перерізу наплавленого металу шва і діаметру електродів

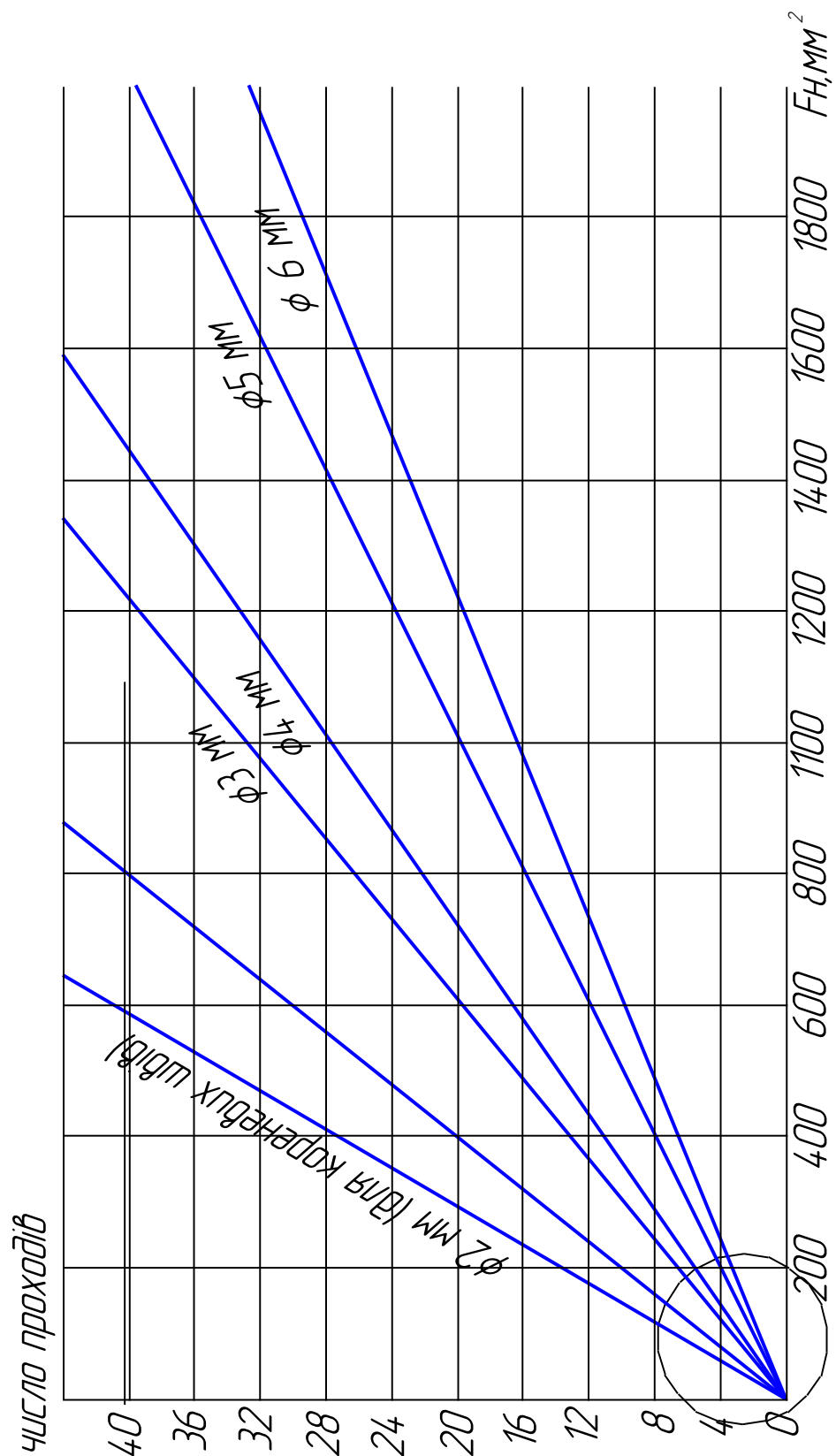


Рис.5 – Графік для визначення проходів (n) при багато прохідному ручному дуговому зварюванні стикових з'єднань в залежності від площі поперечного перерізу наплавленого металу шва (F_n) і діаметра електродів

**Таблиця 7 – Параметри режиму ручного дугового зварювання
сталей електродами типу Е-42 і Е-42А**

Тип електрода	Марка електрода	Діаметр електрода в мм	Рід струму	Напруга В	Сила струму, А		
					Положення шва		
					Нижнє	Вертик.	Стельов.
1	2	3	4	5	6	7	8
Е-42А	УОНИ– 13/45	2	постій ний звор.по лярн.	20–36	45–65	30–40	30–45
		3			80– 100	60–80	70–95
		4	змінни й		130– 160	100– 130	120– 140
		5			170– 200	140– 160	150– 170
		6			210– 240	180– 210	
Е-42	АНО–6	3	постій ний будь- яка полярн ість	20–36	100– 150	90– 120	100– 120
		4			160– 200	150– 170	150– 180
		5			180– 270	150– 180	
		6	змінни й		280– 350		
Е46-Т	АНО–3	3	постій ний будь- яка полярн ість	20–36	110– 140	90– 110	100– 120
		4			160– 200	130– 160	150– 180
		5			180– 270	140– 170	
		6	змінни й		270– 320		

Е46-Т	АНО-4	3	постійний будь-яка полярність	20-36	110-140	90-110	100-120
		4			170-210	140-150	140-170
		5			190-270	150-170	
		6					
			змінний		270-320		
Е50-Ф	УОНИ-13/55	3	постійний зворотня полярність	20-36	80-100	60-80	70-90
		4			130-160	100-130	120-140
		5			170-200	140-160	150-170
		6			210-240		

ПРИКЛАД 3.2.

Розрахувати параметри режиму зварювання встик двох листів з середньовуглецевої сталі марки Сталь 45 товщиною $S = 20$ мм.

3.2.1. З табл. 6 в залежності від товщини зварюваного металу вибираємо форму підготовки кромки і характер виконання шва, наприклад однобічний, двобічний і кількість наплавленого металу.

Згідно завдання необхідно виконати зварювання встик, металу товщиною 20 мм. Виходячи з табл. 6, зварювання можна провести:

- а) з V – подібним розробленням кромки, однобічним швом (площа наплавленого металу $F_n = 286 \text{ мм}^2$, маса наплавленого металу $m_n = 2,26 \text{ кг/м}$);
- б) з К – подібним розробленням кромки, двобічним швом ($F_n = 188 \text{ мм}^2$, $m_n = 1,47 \text{ кг/м}$);

в) з V – подібним розробленням кромок, однобічним швом ($F_H = 241 \text{ мм}^2$,

$m_H = 1,88 \text{ кг/м}$);

г) з U – подібним розробленням кромок, однобічним швом ($F_H = 272 \text{ мм}^2$,

$m_H = 2,12 \text{ кг/м}$);

Як бачимо з порівняння мас і площ наплавленого металу найбільш раціональним є двобічний шов, з К – подібним розробленням кромок, як той що забезпечує мінімальні F_H і m_H , але при всіх своїх перевагах, цей вид розроблення кромок є найбільш складний при виготовленні, тому вибираємо проміжний варіант, однобічний шов з V – подібним розробленням кромок.

Вибираємо необхідні для подальших розрахунків дані однобічного шва за F_H і m_H . $F_H = 286 \text{ мм}^2$, $m_H = 2,26 \text{ кг/м}$.

3.2.2. З таблиці 1 в залежності від товщини зварюваних деталей, визначимо діаметр електрода d_e . Для товщини зварюваного металу $S = 20 \text{ мм}$ – діаметр електрода буде $d_e = 5 \text{ мм}$.

3.2.3. З графіка на рис.5, керуючись вибраними F_H і d_e , знайдемо число проходів «n». Для цього з початку визначаємо площу наплавлення для першого проходу, який, як правило, виконується електродом діаметром 3 мм. Задавшись значеннями $n = 1$ і $d_e = 3 \text{ мм}$, визначимо площу наплавлення першого проходу F_{H1} . Вираховуємо з загальної площі наплавлення F_H , визначеної з табл.1, площу наплавленого металу для першого проходу F_{H1} . Знайдене значення $F_{H2} = F_H - F_{H1}$ дозволить з графіку на рис.5 вирахувати число наступних проходів «n».

Для нашого прикладу $F_H = 286 \text{ мм}^2$, $F_{H1} = 20 \text{ мм}^2$, $F_{H2} = 286 - 20 = 266 \text{ мм}^2$.

Число проходів «n» визначимо за методом з попереднього прикладу $n = 5$.

3.2.4. В залежності від матеріалу зварюваного металу виберемо по каталогу [2] тип і марку електрода. Керуючись типом, маркою

і діаметром електрода, вибираємо рід струму, силу струму, напругу на дузі по табл.3.

Згідно даних каталогу для сталі марки Сталь 45 рекомендуються електроди типу Е-42 марки УОНИ 13/45. Для вибраного діаметра електрода цього типу і марки рекомендується постійний струм зворотньої полярності.

Величина струму $I_{зв} = 170\text{--}200$ А, а напруга $U_d = 20\text{...}36$ В.

3.2.5. З таблиці 4, в залежності від виду покриття, уточнюємо значення вибраного роду струму.

Марка електрода УОНИ 13/45, покриття – основне. Допустима густина струму $j = 10$ А/мм².

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot j = \frac{3,14 \cdot 25^2}{4} \cdot 10 = 200 \text{ А.}$$

ПРИКЛАД 3.3.

Вибрати параметри режиму ручного дугового зварювання таврового з'єднання з сталі ВСтЗсп товщиною $S=12$ мм, катетом $K=12$ мм.

3.3.1. З табл.6, складеної з даних ГОСТ 5264–80, в залежності від товщини зварюваних деталей, вибираємо форму підготовки кромки.

При виборі врахуємо економічність процесу підготовки кромки і кількість наплавленого металу.

Необхідно виконати зварювання кутового з'єднання двох листів товщиною $S=12$ мм. Виходячи з таблиці 8, зварювання можна виконати [2]:

а) без розроблення кромки двобічним швом (маса наплавленого металу $m_H=0,217 \cdot 2$ кг/м $=0,434$ кг/м);

б) з V – подібним розробленням кромки, двобічним швом ($m_H=1,55$ кг/м);

в) з V – подібним розробленням кромки, двобічним швом ($m_H=0,897$ кг/м).

Як бачимо з порівняння мас наплавленого металу найбільш вигідний варіант «а».

3.3.2. З графіку на рис. 6 визначимо площу наплавленого металу F_n . Для цього на вісь абсцис (S_k) відкладемо значення товщини зварюваного металу. З точки перетину побудуємо перпендикуляр до перетину з графіком вибраної нами форми підготовки кромки. З отриманої точки перетину проведемо горизонталь до перетину з віссю ординат (F_n) і на цій вісі отримаємо значення величини площі наплавлення.

Для товщини металу $S=12$ мм, площа наплавлення становить $F_n=100$ мм², однак, шов двобічний, то $F_n=100 \cdot 2=200$ мм².

3.3.3. З таблиці 9 в залежності від катета шва знайдемо діаметр електрода. Для катета рівного 12 мм, діаметр електрода вибираємо рівним 5 мм [2].

3.3.4. З графіка на рис.5. (див. «Шви стикових з'єднань»), керуючись знайденою F_n і d_e , визначимо необхідне число проходів «n». Для цього відкладемо на осі абсцис знайдену величину $F_n = 200$ мм². З точки $F_n = 200$ мм² побудуємо перпендикуляр до перетину з графіком визначеного діаметра електрода. З точки перетину проводимо горизонталь до перетину з віссю ординат (n), отримаємо необхідне число проходів. В даному прикладі $F_n=200$ мм² і зварювання для цього виконуємо електродом діаметром 5 мм за 6 проходів (n=6).

3.3.5. В залежності від марки зварюваного матеріалу вибираємо по каталогу [2] тип і марку електрода. Враховуючи марку та діаметр електрода, виберемо рід струму, силу струму і напругу на дузі з табл.3. (див. «Шви стикових з'єднань»).

Згідно даних каталога для ВСтЗсп рекомендуються електроди типу Е42, марки УОНИ 13/45.

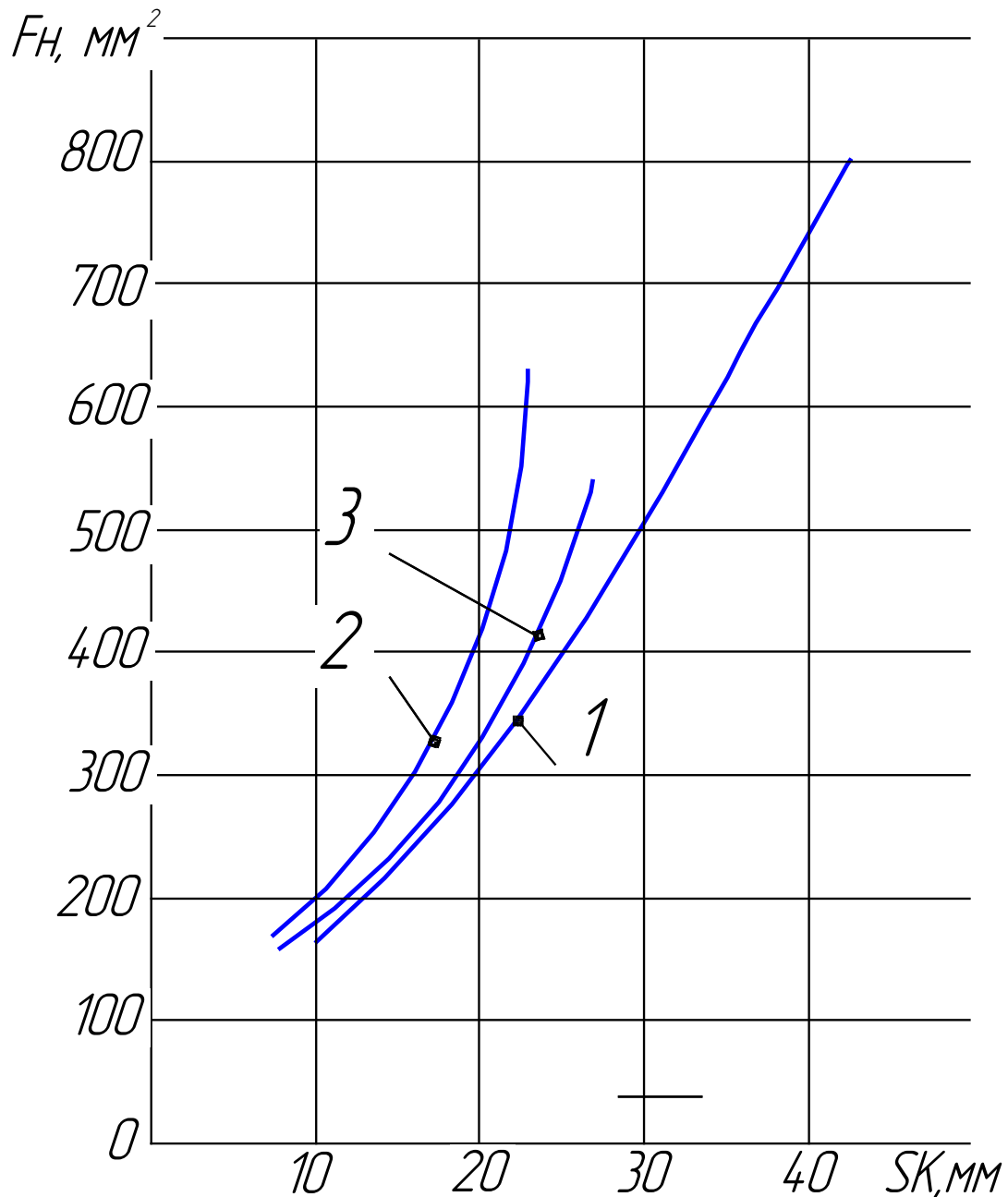
Для вибраного діаметра електрода цього типу і марки рекомендується використовувати постійний струм зворотної полярності.

Величина струму $I_{зв} = 170-200$ А, напруга $U_d = 20-36$ В.

3.3.6. З таблиці 6 в залежності від виду покриття уточнюєм значення вибраного струму.

Тип електрода Е42, марки УОНИ 13/45 – покриття основне 5 мм, допустима густина струму $j=10 \text{ А/мм}^2$

$$I_{3B} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot j = 0,785 \cdot 25 \cdot 10 = 200 \text{ А.}$$



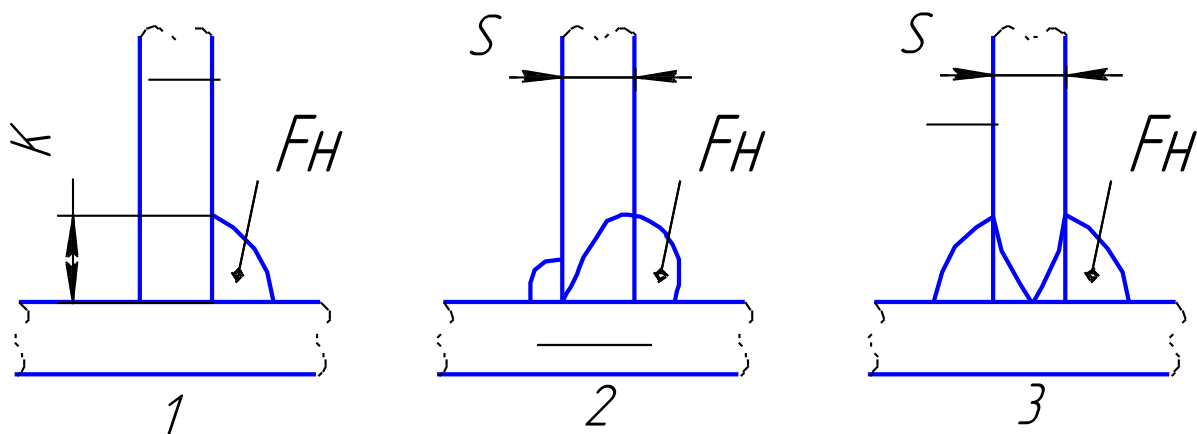


Рис.6 – Графік для визначення площі поперечного перерізу наплавленого металу в шві.

4. Деякі особливості вибору параметрів режиму ручного дугового зварювання сталей

4.1. Низьколеговані гартовані сталі

До цих сталей відносяться сталі марок 35Х, 40Х, 30Г, 35Г2, 30ХГСА, 35ХГСА. По чутливості і термдеформаційному циклу зварювання до цієї групи відносяться і вуглецеві сталі марок Сталь 30, 35, 40, 45, 50 та інші. Вміст вуглецю в них знаходиться в межах 0,25–0,5 %, а сумарний вміст легуючих елементів 3 – 4 %.

Розрахований за приведеними в розділі 1 формулами (1–6) параметри режиму ручного дугового зварювання забезпечать задовільне формування і геометричні розміри шва, в той час не виключається можливість виникнення гартівних тріщин.

Для отримання високоякісних зварних з'єднань потрібно використовувати не тільки рекомендації згідно каталога [2], з вибору типів і марок електродів, але і проводити попереднє підігрівання зварюваних кромок.

Попереднє підігрівання знижує швидкість охолодження біляшовної зони, забезпечуючи отримання структур, які мають запас пластичності (мартенситу – 20...30 %), що і запобігає виникненню тріщин. Необхідність підігрівання зварювальних

кромки приблизно може бути визначено за еквівалентом вуглецю $C'_{\text{екв}}$. При $C'_{\text{екв}} < 0,45$ % підігрівання не потрібне, а при $C'_{\text{екв}} > 0,45$ % підігрівання потрібне і температура тим вище чим більше значення має $C'_{\text{екв}}$ (еквівалент вуглецю).

Температура підігрівання кромки визначається за формулою:

$$T_n = 350 \cdot \sqrt{C'_{\text{екв}} - 0,25} \quad (4.1)$$

Наприклад, для сталі 35, з вмістом C – 0,35 % еквівалент вуглецю становить:

$$C'_{\text{екв}} = C_{\text{екв}} \cdot (1 + 0,05 \cdot S), \text{ де } S - \text{товщина в мм,}$$

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cl}}{24} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{V}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{Ni}}{10} + \frac{\text{Cu}}{13} + \frac{\text{P}}{2}, \quad (4.2)$$

$$C_{\text{екв}} = 0,35 + \frac{0,6}{6} = 0,35 + 0,1 = 0,45,$$

$$C'_{\text{екв}} = 0,45 \cdot (1 + 0,05 \cdot 20) = 0,45 + 0,01 = 0,46 \text{ \%}.$$

Тоді температура підігрівання для сталі 35 становить:

$$T_n = 350 \cdot \sqrt{0,46 - 0,25} = 350 \cdot 0,21 = 158,2 \text{ } ^\circ\text{C} \approx 160 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Швидкість охолодження при вибраному або розрахованому режимі ручного дугового зварювання може бути визначено для однопрохідного зварювання встик з наскрізним проплавленням за формулою:

$$W_{\text{охол.}} = 2\pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \gamma \cdot \frac{(T_{\text{min}} - T_0)^3}{(q_n / S)^2}, \quad (4.3)$$

де $W_{\text{охол.}}$ – миттєва швидкість охолодження при температурі T_{min} , $^\circ\text{C}$;

T_{min} , $^\circ\text{C}$ – температура найменшої стійкості аустеніту $T \approx 550$ $^\circ\text{C}$;

λ – коефіцієнт теплопровідності, кал/см·с· $^\circ\text{C}$;

$c \cdot \gamma$ – об'ємна теплоємність, кал/см· $^\circ\text{C}$;

T_0 – початкова температура, зварюваного металу, $^\circ\text{C}$.

$$q_n = \frac{0,24 \cdot I_{\text{зв}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{у}}}{V_{\text{зв}}} - \text{погонна енергія розрахована за формулою}$$

(5) або (7).

$T_{\min} - T_0$ – вибирається по номограмі [4].

При зварюванні сталі, схильної до гартування і утворення холодних тріщин, перевіряють умови охолодження першого шару, в біляшовній зоні в якого при швидкому охолодженні і різкому гартуванні можуть утворитися тріщини.

Наступні шари при одному поперечному перерізі, як правило, охолоджуються повільніше, ніж перший шар, тому умови їх охолодження можна не перевіряти.

Отримане значення швидкості охолодження повинно бути нижче допустимої для даної марки сталі, тобто швидкості, при якій в біляшовній зоні будуть відсутні структури гартування металу або їх вміст буде незначний.

В таблиці 8 наведені допустимі швидкості охолодження металу зони термічного впливу для деяких гартівних сталей.

Таблиця 8 – допустимі швидкості охолодження в залежності від марки сталі

Марка сталі	$V_{охол.}, \text{C/с}$ при $T=500^{\circ}\text{C}$	Марка сталі	$V_{охол.}, \text{C/с}$ при $T=500^{\circ}\text{C}$
35ХГСА	2,5–6,0	30Г	3,0–7,0
40Х	2,5–3,7	25ХН2	2,0–3,7
45ХМА	0,7	25Н3	0,8–11,0
30ХМ	8	35ХВФА	1,0–5,0

Час після закінчення зварювання до проведення термооброблення жорстко регламентований.

Якщо ж значення швидкостей охолодження буде вище допустимих, тоді необхідна або зміна параметрів режиму зварювання, або використання деяких технологічних заходів (двобічне зварювання розсунутими дугами, зварювання каскадом чи гіркою або більш висока температура підігрівання та інш.).

4.2. Середньолеговані високоміцні сталі

До цієї групи відносяться сталі марок 33ХЗНВФМА, 43ХЗСНВФМА, 30ХН2МФА, АК-25, АК-27 та інш. Вміст вуглецю в них досягає до 0,5 %, а сумарний вміст легуючих елементів – 5÷9 %.

Збільшення степені легування, при достатньо високому вмісті вуглецю, підвищує стійкість аустеніту і, практично, при всіх швидкостях охолодження, які визначаються за формулами приведеними в розділі 1, розпад аустеніту проходить в мартенситній області. Тому такі сталі зварюються без попереднього підігрівання (він викликає ріст зерна і виникнення холодних тріщин), але з використанням технологічних заходів, які забезпечують збільшення часу перебування металу шва і біляшовної зони в субкритичному інтервалі температур і «автотермооброблення» гартівних зон, які прилягають до шва.

До цих заходів відноситься зварювання «каскадами» чи блоками, короткими ділянками. Також можна використовувати аустенітний електродний метал.

При багатошаровому зварюванні накладаються відпалюючі валики.

В більшості випадків зварні з'єднання підлягають після зварювального термооброблення (гартування з низьким або високим відпуском).

Вибір типу і марок електродів продиться по каталогу [2]. Електроди для зварювання не повинні вміщувати органічні речовини і обов'язково підлягати високотемпературному прожарюванню.

4.3. Високохромисті, мартенситні, мартенситно-феритні і феритні сплави

До цієї групи відносяться сталі марок 08Х13, 13Х11Н2ВМФ, 12Х13, 08Х17Т та ін. [1]. Особливістю отримання зварюваних з'єднань вище вказаних сталей є те, що вони схильні до

утворення холодних тріщин. Для попередження появи холодних тріщин необхідно або добиватися отримання хімічного складу шва, близького до основного металу, або отримання аустенітної (аустеніто-феритної) структури металу шва. При цьому, в першому випадку, необхідне подальше термооброблення (високий відпуск), а в другому випадку – подальша термооброблення непотрібне.

При виборі або розрахунку параметрів режиму ручного дугового зварювання необхідно додатково враховувати, що покриття електродів не повинно вміщати газоутворюючих органічних речовин.

Як правило використовуються електроди з основним (фтористо-кальцієвим) покриттям. Перед зварюванням електроди необхідно прожальювати при температурі 450...500⁰C на протязі двох годин. Зварювання слід вести на більш жорстоких режимах (менша) погонна енергія. Застосування попереднього і супутнього підігрівання при температурі - 200...450 ⁰C в багатьох випадках (але не все) є корисним для попередження появи тріщин.

Використання після зварювання високого відпуску (700...900 ⁰C) сприяє отриманню більш пластичних структур (сорбіт, ферит), але термооброблення необхідно проводити не пізніше 0,5–1 год. після закінчення процесу зварювання.

4.4. Теплостійкі сталі

Чутливі до термічного циклу зварювання, теплостійкі сталі є якби, різновидом гартівних сталей. До них відносяться сталі 15М, 20ХМ, 12Х1МФ, 15Х2МФБ, 20Х2МА і інші.

Підвищений вміст вуглецю (до 0,2 %) і легуючих елементів (частіше молібден в сполуках з хромом, ванадієм та інш.) збільшують схильність до різкого гартування, в результаті чого такі сталі мають високу чутливість до термічного циклу і біляшовна зона стає непластичною при всіх способах зварювання. Для відновлення властивостей біляшовної зони

необхідно проводити термооброблення. Для запобігання виникнення гартівних структур в біляшовній зоні необхідно застосовувати попереднє або супутнє підігрівання, температура якого вибирається з таблиці 9. При цьому швидкість підігрівання становить 30^0-50^0 в 1 год.

При зварюванні сталей цього класу жорсткі вимоги ставляться до швидкості охолодження. При дуже великих швидкостях охолодження пластичність знижується за рахунок утворення переважно мартенситної структури, а при малих – за рахунок надмірного росту зерна. Тому при виборі параметрів режиму зварювання для гартівних сталей необхідно розраховувати швидкість охолодження і результати розрахунку порівнювати з даними про допустимі швидкості охолодження для даної сталі, які наведені в таблиці 6.

4.5. Високолеговані аустенітні сталі

До сталей цього класу відносяться сталі ОХ18Н10Т, 10Х17Н13Н2Т, 09Х14Н19В2БР та інші.

В результаті багатокомпонентності легування зварювання цих сталей забруднено. При зварюванні і термічному обробленні цих сталей в шві і біляшовній зоні виникають гарячі кристалізаційні тріщини, які мають міжкристалічний характер. Уникнути появи гарячих тріщин можна, вводячи в зварювальну ванну елементи (Al, Nb, W, В), знижуючи вміст в швах шкідливих домішок (S; Р) і легкоплавких сполук, а також газів (O_2 , H_2). Для цього використовують параметри режиму, якого

якого долю основного металу в металі шва
$$\frac{I_{зв}}{d_e} \leq 30 \frac{A}{mm}$$

Зменшенню насичення шва газами сприяє використання для зварювання постійного струму зворотньої полярності. Зварювання краще проводити короткою дугою і електродом з основним (фтористо-кальцієвим) покриттям без поперечних коливань електрода. Сталі цього класу мають понижений коефіцієнт теплопровідності, що приводить до

короблення металу при зварюванні. Для зменшення короблення потрібно використовувати способи і режими зварювання, які характеризуються максимальною концентрацією теплової енергії.

Таблиця 9 – Величина температури попереднього і супутнього підігрівання в залежності від марки сталі

Марка сталі	Температура попереднього і супутнього підігрівання в $^{\circ}\text{C}$
15X2M2ФБС, 15ХМФКР, Э4415	400–500
12ХМ, 15ХМ	200–250
20ХМ, 12ХМФ	250–350
20ХМФ, 15Х1М1Ф, 34ХМ1А	350–450

З М І С Т

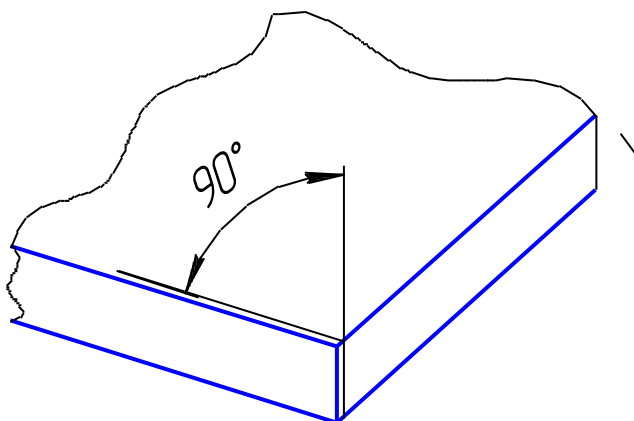
1. Розрахунок параметрів режиму ручного дугового зварювання.....	3
2. Приклади розрахунку параметрів режиму ручного дугового зварювання.....	8
3. Приклади вибору параметрів режиму ручного дугового зварювання.....	8
4. Деякі особливості вибору параметрів режиму ручного дугового зварювання сталей.....	17
Перелік посилань	
Додаток	

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

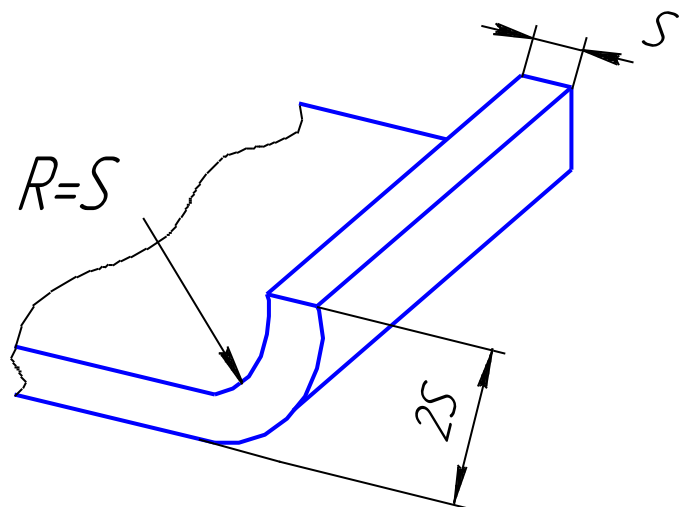
1. Акулов А.И., Бельчук., Демянцевич В.П., Технология и оборудование сварки. М., Машиностроение, 1977, 431 с.
2. Электроды для дуговой сварки и наплавки (каталог), Киев, Наукова думка, 1967.
3. ГОСТ 5264–80. Швы 3Зонстру соединений. Ручная дуговая сварка. Основные типы и конструктивне элементы.
4. Сварка в машиностроении. Справочник. Т.Т.М, Машиностроение, 1987.
5. Малышев Б.Д., Мельник В.И., Гетия И.Г. Ручная дуговая сварка. М., Стройиздат, 1990, 320 с.

Додаток

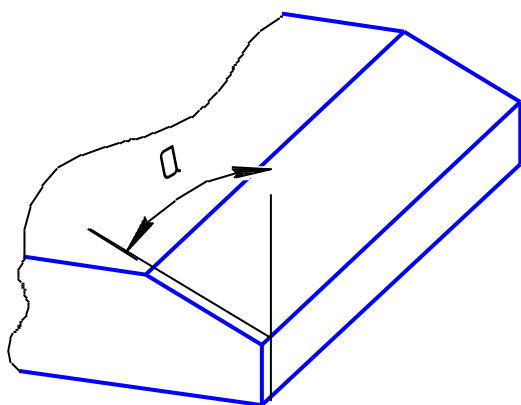
Способи підготовки кромки



*Без підготовки кромки
(відрізка під прямим кутом)*

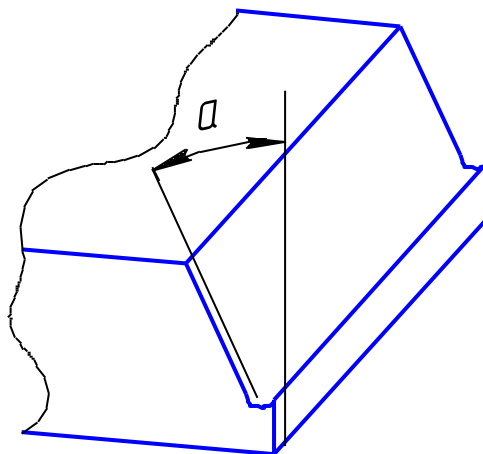


відбортовка



Кромка з одним скосом

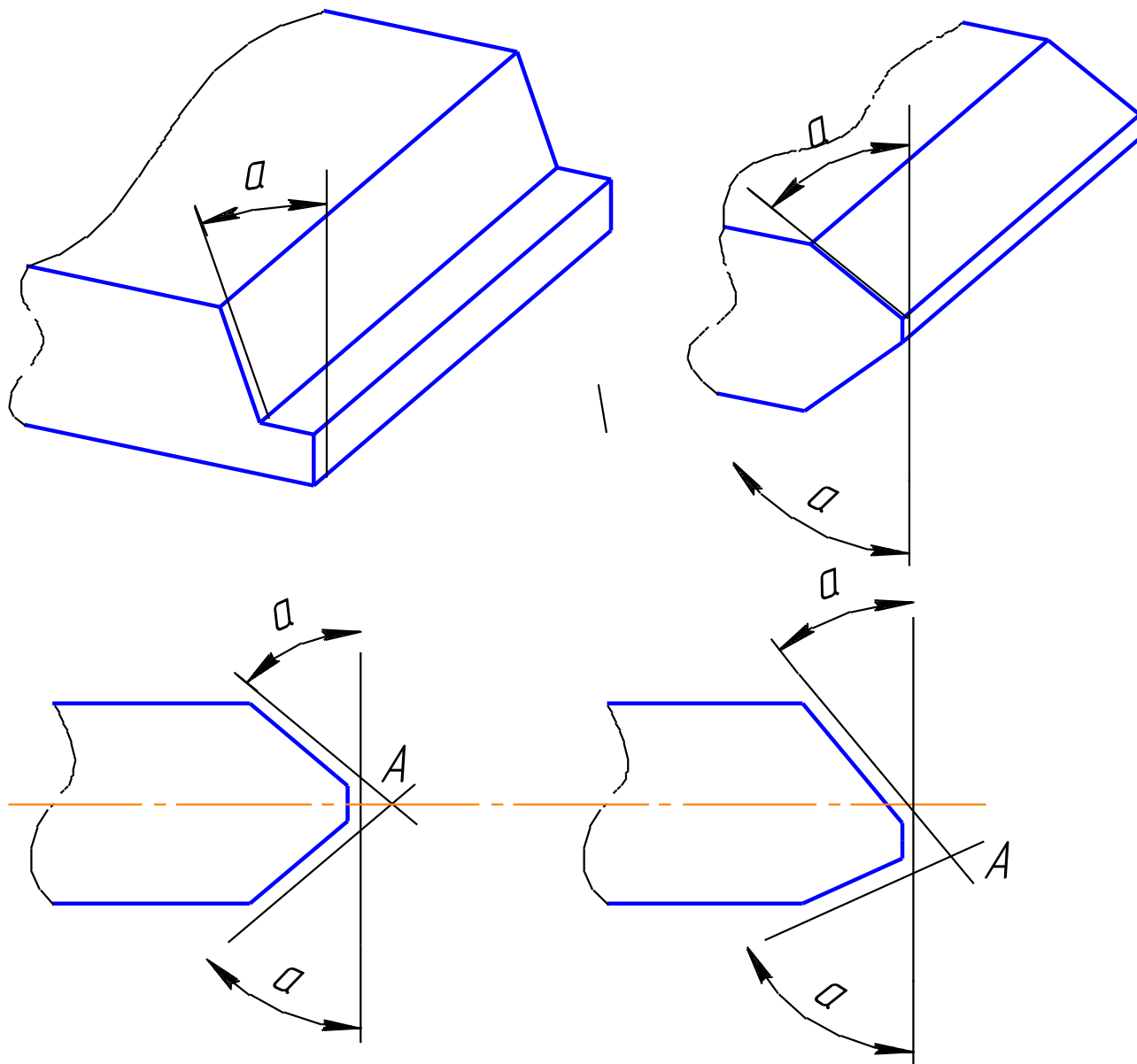
а) прямолінійним



б) криволінійним

α - кут розробки кромки

Кромка замкового шва Кромка з двома скосами



а) симетричний;

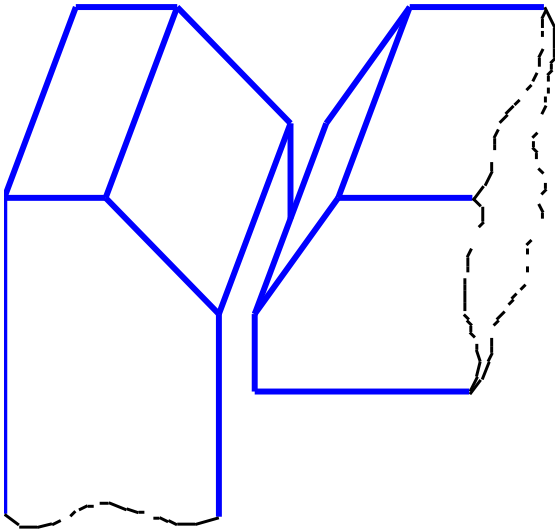
крапка на осі симетрії "А".

б) несиметричний;

крапка "А" не на осі симетрії

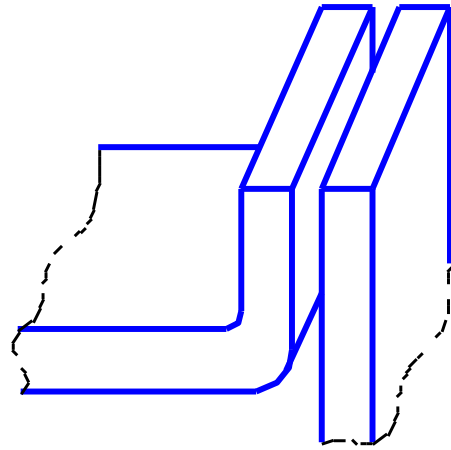
α - кут розробки кромки

У9,10



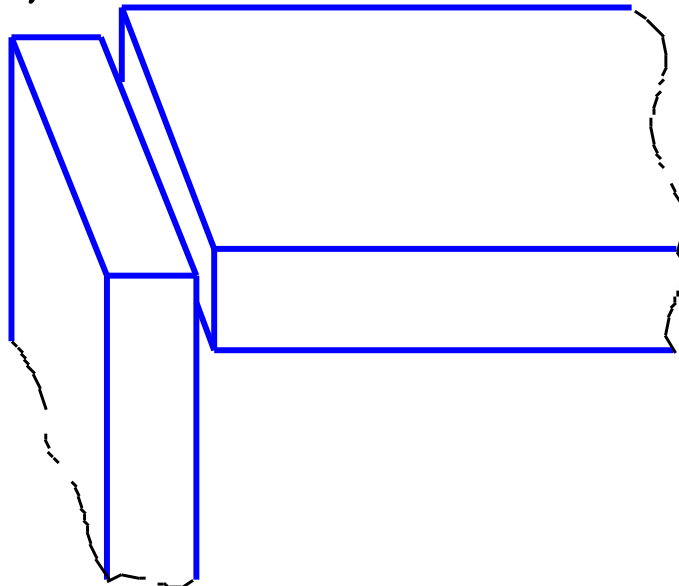
*з скосом
двох кромки*

У1



*з відбортовкою
одної кромки*

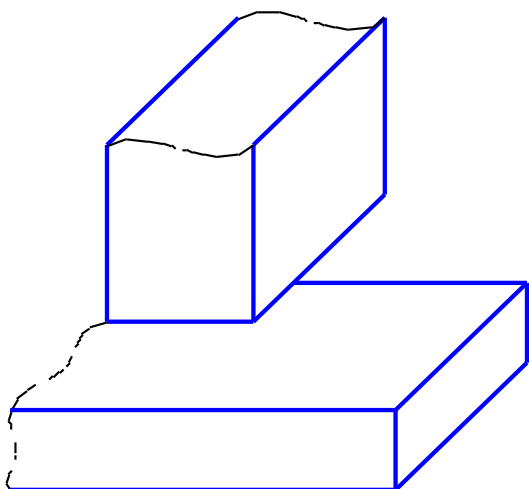
У4,5



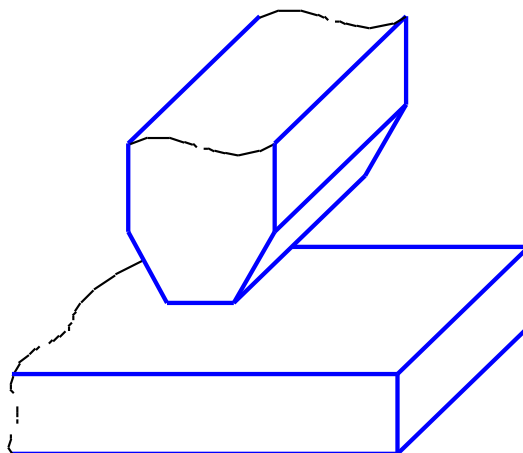
без скосу кромки

Способи підготовки кромки

а) таврових



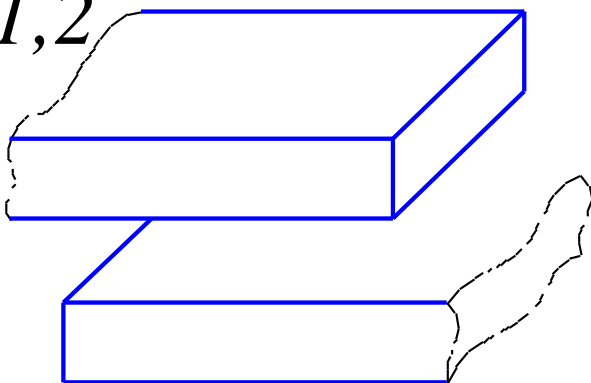
без скосу кромки



*з двома скосами
одної кромки*

б) з'єднань в напустку

H1,2



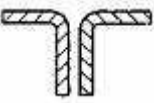
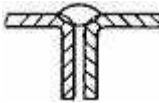
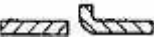
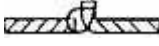
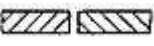


















































без скосу кромки

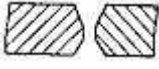





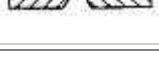



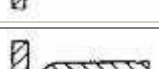
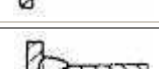
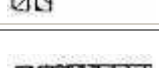
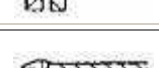



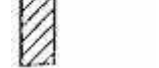




*цифри біля букв - вказують
на порядковий номер шва*

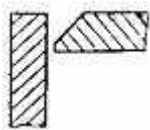
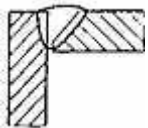
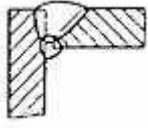
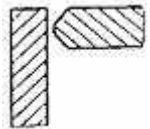
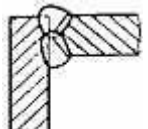
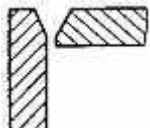
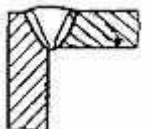
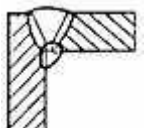
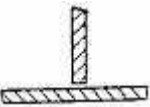
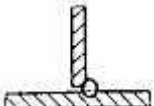
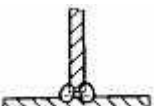
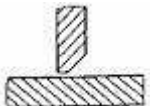
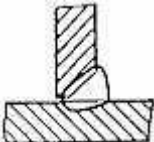
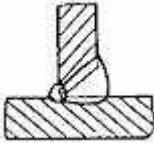
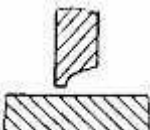

Зварні з'єднання виконані ручним дуговим зварюванням

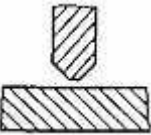
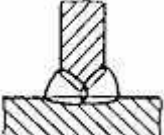
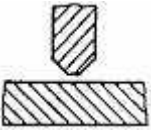
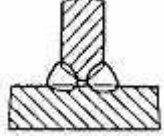
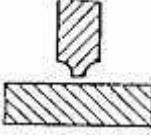
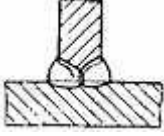
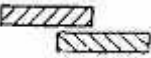


за ГОСТ 5264-80

Форма поперечного січення шва		Товщина зварювальних деталей, мм	Позначення шва
Підготовленої кромки	Виконаного шва		
		1-4	C1
		1-12	C28
		1-4	C3
		1-4	C2
			C4
			C5
		1-4	C6
		2-5	C7
		6-12	C42
			
			C8
			C9

		3-60	C10
			C11
			C12
		15-100	C13
			C14
		8-100	C15
		30-120	C16
		12-100	C43
		3-60	C17
			C18
		6-100	C19
		3-60	C20
			C21
		8-40	C45
			
		15-120	C23
			C24

		8-120	C25
		30-175	C26
		30-75	C27
		12-120	C39
			C40
		1-4	Y1
		1-12	Y2
		1-6	Y4
		1-30	
		2-8	Y5
		2-30	

		3-60	Y6
			Y7
		8-100	Y8
		3-60	Y9
			Y10
		2-10	T1
			T3
		3-60	T6
			T7
		15-100	T2

		8-100	T8
		12-100	T9
		30-120	T5
		2-60	H1
			H2